



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Destillationsanlage mit Kolonne und Wärmepumpe gemäss Oberbegriff von Anspruch 1 sowie Verwendungen der Anlage.

**[0002]** In einer Destillationskolonne wird einem Sumpf zur Erzeugung von Dampf Wärme zugeführt, während in einem Kolonnenkopf zur Verflüssigung von Dämpfen (oft Brüden genannt) eine entsprechende Wärmemenge abgeführt wird. Die Zufuhr von Wärme im Sumpf und die Abfuhr von Wärme im Kopf werden mit Vorteil über einen Wärmepumpenprozess gekoppelt, mittels dem ein Wärmetransport sowie Wärmewandel (d. h. Temperaturerhöhung der transportierten Wärme) durchführbar ist. Ein bevorzugtes Verfahren, die "direkte Brüdenverdichtung", kann bei vielen Produkten nicht angewendet werden, wegen Polymerisation, Zersetzung, Korrosion, geringer Dampfdichte etc. In solchen Fällen destilliert man konventionell ohne Wärmepumpe oder mit einer Wärmepumpe, deren Arbeitsmittel ein separater, in einem Hilfskreislauf geführter Stoff ist. Dabei werden die Wärmezufuhr und die Wärmeabfuhr über indirekten Wärmetausch in einem Sumpfverdampfer bzw. in einem Brüdenkondensator durchgeführt. Als Arbeitsmittel der Wärmepumpe kommen verschiedene Stoffe in Frage. Aus thermodynamischen Gründen und dank seiner Ungefährlichkeit für die Umwelt ist Wasser verglichen mit anderen möglichen Stoffen vorteilhafter und daher vorzuziehen.

**[0003]** Ein Nachteil der Verwendung von Wärmepumpen ist, dass ein Verdichterausfall in der Praxis eine lange Stillstandzeit der Destillationsanlage zur Folge hat, da mit Maschinen verdichtet werden muss, für die in der Regel kein rascher Ersatz möglich ist. Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Destillationsanlage zu schaffen, bei der mittels einer geeigneten Massnahme dieser Nachteil bezüglich einem Verdichterausfall wegfällt. Diese Aufgabe wird mit einer Anlage gemäss Anspruch 1 gelöst.

**[0004]** Die Destillationsanlage umfasst eine Kolonne und eine zwischen einem Sumpfverdampfer und einem Brüdenkondensator der Kolonne arbeitende Wärmepumpe. Die Wärmepumpe ist durch Einrichtungen substituierbar, die bei Bedarf an den Sumpfverdampfer und den Brüdenkondensator anschaltbar sind. Diese substituierenden Einrichtungen umfassen Einrichtungen zur Erzeugung von Dampf bzw. zur Bereitstellung eines Kühlmittels sowie Anschlussmittel. Die Kühlmittel können Flüssigkeiten (Wasser) oder Gase (Luft) sein.

**[0005]** Die abhängigen Ansprüche 2 bis 6 beziehen sich auf vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemässen Destillationsanlage. Gegenstand der Ansprüche 7 bis 10 ist die Verwendung dieser Anlage.

**[0006]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten erfindungsgemässen Destillationsanlage und

Fig. 2 eine entsprechende Darstellung einer zweiten Anlage.

**[0007]** Die Komponenten der in Fig. 1 dargestellten Anlage sind:

- eine Kolonne 1 zur Durchführung einer Destillation, mit einem Verteiler 10 für ein Rohprodukt F (nämlich das zu behandelnde Stoffgemisch), einem Sumpf 11, einem Kolonnenkopf 12 und Einbauten 110 sowie 120;
- ein Brüdenkondensator 2 (Kondensator für die Kopfdämpfe) mit Sumpf 21 und Rohrbündel 200, welcher Verdampfer einer Wärmepumpe ist;
- eine Pumpe 41 zum Umwälzen von kondensiertem Arbeitsmittel 40 der genannten Wärmepumpe, das im Brüdenkondensator 2 verdampft wird;
- ein Sumpfverdampfer 3, mit Rohrbündel 300, Sumpf 11 der Kolonne 1 und Umwälzpumpe 13, welcher der Kondensator der Wärmepumpe ist;
- ein Verdichter 4 und ein Drosselorgan 5 der Wärmepumpe;
- eine Teilanlage 20 zur Entfernung von Inertgasen und von einer Überschusswärme, die weitgehend der Energie entspricht, die durch den Verdichterantrieb in den Prozess eingetragen wird;
- ein Tank 14 für das Kopfprodukt P", von dem aus über eine Umwälzpumpe 15 und eine Rücklaufleitung 16 kondensiertes Produkt P" als Rücklauf in die Kolonne rückgeführt wird;
- ferner eine Wärmesenke 7, d. h. eine Einrichtung 7 zur Bereitstellung eines Kühlmittels (insbesondere Kühlwasser oder auch Luft) und eine Wärmequelle 6, d. h. eine Einrichtung 6 zur Erzeugung von Dampf (insbesondere Wasserdampf).

**[0008]** Dem Rohprodukt F, das bereits durch eine Wärmezufuhr in der Teilanlage 20 vorgewärmt sein kann, wird in einem Wärmetauscher 100 aus einem bei der Destillation gewonnenen Sumpfprodukt P' weiter Wärme zugeführt, bevor es in die Kolonne 1 eingespeist wird.

**[0009]** Bei einem Versagen des Verdichters 4 werden dessen Anschlussleitungen mittels Verschlussorganen (nicht dargestellt) geschlossen, ein weiteres Verschlussorgan 22 im Verdampferkreislauf des Brüdenkondensators 2 ebenfalls geschlossen und gleichzeitig die Wärmequelle 6 über gestrichelt angegebenen Anschlussmittel 63, 63' an den Sumpfverdampfer 3 sowie die Wärmesenke 9 über Anschlussmittel 72, 72' an den Brüdenkondensator 2 angeschlossen. Somit kann nun während eines Ausfalls des Verdichters 4 der Betrieb der Destillationskolonne 1 auf konventionelle Weise mittels nicht gekoppelter Wärmetauschoperationen, nämlich mit den substituierenden Einrichtungen 6, 7 zur Erzeugung von Dampf bzw. zur Bereitstellung eines Kühlmittels, fortgesetzt werden.

**[0010]** Mit der Anlage in Fig. 1 lässt sich beispielsweise

se Styrol aus einem Gemisch gewinnen, das das leichter siedende Ethylbenzol und in kleineren Mengen Toluol sowie Benzol enthält. Der Schwersieder Styrol kann im Verdampfer 3 mit Wasserdampf von 104°C (Druck 1170 mbar) beheizt werden, so dass es im Sumpf 11 bei einer Temperatur von 100°C verdampfbar ist. Die Brüden im Kopf 12 mit einer Temperatur von 82°C lassen sich im Kondensator 2 mit kondensiertem Wasser von 77°C (Dampfdruck 416mbar) verflüssigen. Der Verdichter 4 muss Wasserdampf aus dem Sumpf 21 des Brüdenkondensators 2 von 416 auf 1170 mbar komprimieren.

**[0011]** Für die Abfuhr von Überschusswärme in der Teilanlage 20 ist es in der Regel von Vorteil, einen Kühler vorzusehen, der an ein Kühlwassernetz 7 angeschlossen ist. Bei einem Verdichterausfall kann dieses Kühlwassernetz im Sinne der Erfindung als die substituierende Einrichtung zur Bereitstellung von Kühlmittel verwendet werden.

**[0012]** Mit Vorteil ist eine Steuereinrichtung vorgesehen (nicht dargestellt), mittels der ein Umschalten von der Wärmepumpe auf die substituierenden Einrichtungen ausgeführt werden kann, sobald es zu einem Versagen des Verdichters 4 kommt.

**[0013]** Die Einrichtung 6 zur Erzeugung von Dampf ist in der Regel ein Kessel, der Dampf von beispielsweise 6 oder 16 bar abgibt. Es ist daher ein Druckentspannungsorgan im Anschlussmittel 63' zwischen Kessel 6 und Sumpfverdampfer 3 anzuordnen. Es ist möglich, ein solches Druckentspannungsorgan als Teil der Einrichtung 7 zur Bereitstellung von Kühlmittel zu nutzen, so dass mit diesem Organ Exergie, die mit dem Dampf zur Verfügung steht, in eine Kühlleistung umsetzbar ist. Dies wird anschliessend anhand der Anlage der Fig. 2 illustriert, bei der das Druckentspannungsorgan ein Dampfstrahlverdichter 8 ist.

**[0014]** In Fig. 2 sind die gestrichelt gezeichneten Verbindungen 63, 63', 72, 72' Anschlussmittel, mit welchen über nicht dargestellte Verschlussorgane (vgl. Fig. 1) substituierende Einrichtungen 6, 7 mit der Destillationskolonne 1 in Wirkverbindung gebracht werden können. Die Kühleinrichtung 7 umfasst einen Vorkühler 71 und einen Hauptkühler 70. Bei einer Substitution der Wärmepumpe 4, 5 wird im Vorkühler 71 Kühlwasser, das im Brüdenkondensator 2 erwärmt worden ist, durch Verdunstung um einige Grad Celsius abgekühlt, bevor es im Kühler 70 auf die benötigte Vorlauftemperatur für den Kondensator 2 weitergekühlt wird. Der bei der Verdunstung im Vorkühler 71 abgegebene Dampf wird über eine Leitung 76 und durch den als Dampfstrahlverdichter ausgebildeten Hilfsverdichter 8 abgesaugt. Hat der Treibdampf (Zuleitung 61) des Kessels 6 einen Druck von 16 bar, so kann für das oben angegebene Beispiel (Styroldestillation) mit dem Hilfsverdichter 8 und Hochdruckdampf, der einen Anteil von rund 60% umfasst, entsprechend 40% Niederdruckdampf (rund 400 mbar) angesaugt werden, so dass in der Leitung 63 100% Dampf (1170 mbar) als Wärmequelle für den Sumpfver-

dampfer 3 zur Verfügung steht. Das bei der Wärmeabgabe kondensierte Wasser wird über die Leitung 63' in den Kessel 6 rückgeführt. Ein Überschuss an Kondensat, der dem angesaugten Niederdruckdampf entspricht, kann über eine Leitung 67 in die Kühleinrichtung 7 zurückgegeben werden (und zwar in den Kühler 70, wie dargestellt, oder noch besser in den Vorkühler 71).

**[0015]** Der Brüdenkondensator 2 kann als Apparat mit Rohrbündeln ausgebildet sein, an dessen Rohroberflächen die Brüden in Form von Fallfilmen kondensieren. Statt eines Rohrbündelkondensators kann auch ein Plattenkondensator (ein einen Plattenstapel enthaltender Apparat) verwendet werden. Entsprechendes gilt für die weiteren Wärmetauscher, in denen Phasenumwandlungen stattfinden.

**[0016]** In der Anlage der Fig. 2 ist ein Kühler 9 zum Abführen von Überschusswärme parallel zum Brüdenkondensator 2 angeordnet. Das Kühlmedium kann dabei Luft oder Wasser sein.

**[0017]** Die erfindungsgemässe Anlage lässt sich vorteilhaft für die Destillation von Gemischen F organischer Stoffe verwenden, wobei bei diesem Trennverfahren Brüden bei einer Temperatur zwischen 40 und 120°C gebildet werden und ein Sumpfprodukt bei einer Temperatur zwischen 60 und 160°C verdampft wird. Der Wärmepumpenprozess, durch den die Kondensation der Brüden mit der Verdampfung des Sumpfprodukts gekoppelt ist, kann mit einem Verdichter 4 durchgeführt werden, der mit einem Elektromotor M, einem Gasmotor, einer Dampfturbine oder einer Gasturbine antreibbar ist. Bei der Verwendung von Wasser als Arbeitsmittel 40 kann für den Verdichter 4 ein einstufiger Turbo-kompressor eingesetzt werden, dessen Schaufelrad mit Vorteil aus Titan gefertigt ist.

**[0018]** Gemäss der zugrundeliegenden Aufgabe der Erfindung wird bei einem Verdichterausfall von einem Betrieb mit der Wärmepumpe 4, 5 auf einen Betrieb mit den substituierenden Einrichtungen 6, 7 umgeschaltet.

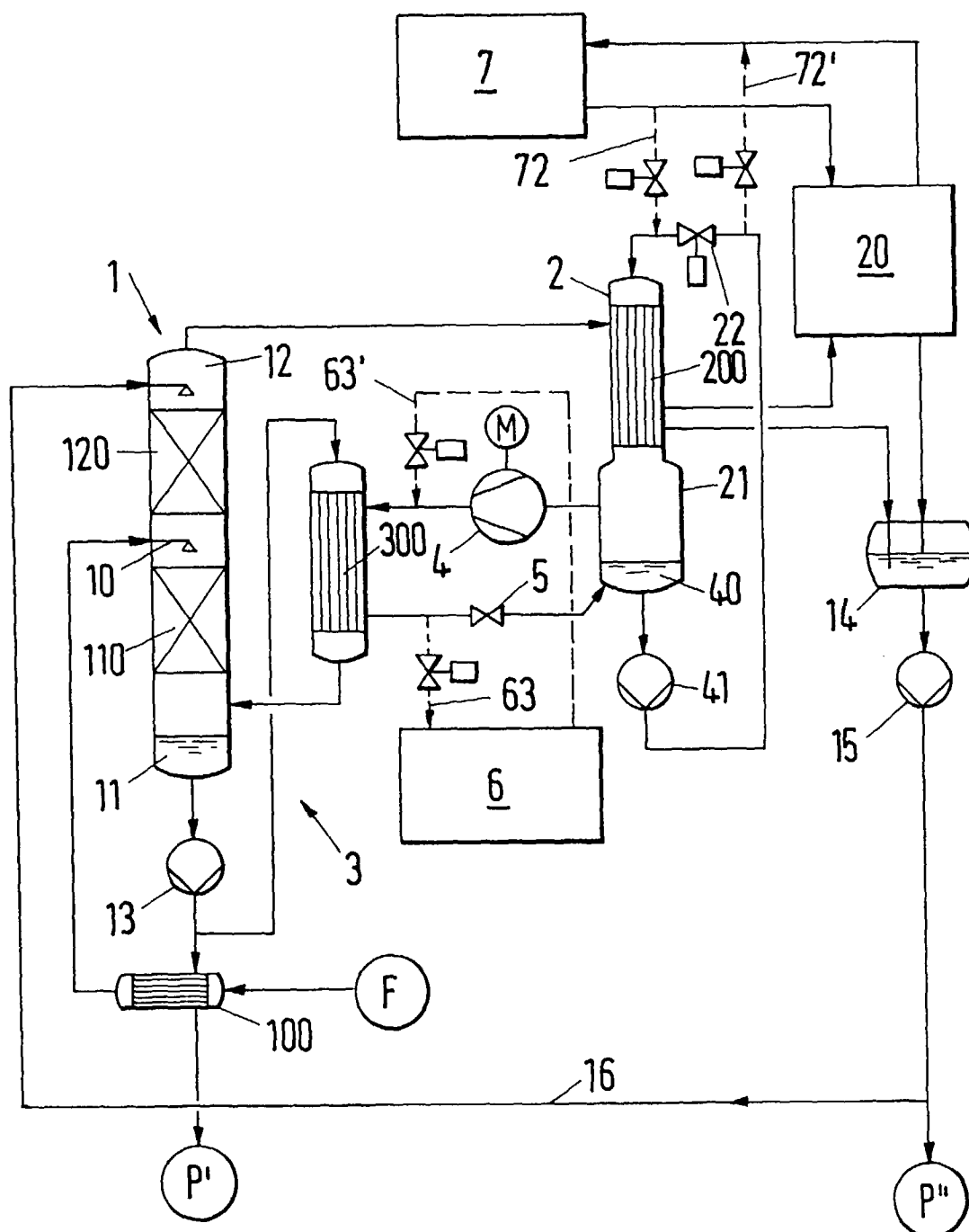
**[0019]** Die substituierenden Einrichtungen 6, 7 können auch beim Anfahren der Destillation mit Vorteil verwendet werden, indem sie vor einer Inbetriebnahme des Verdichters 4 an den Sumpfverdampfer 3 bzw. den Brüdenkondensator 2 angeschlossen werden.

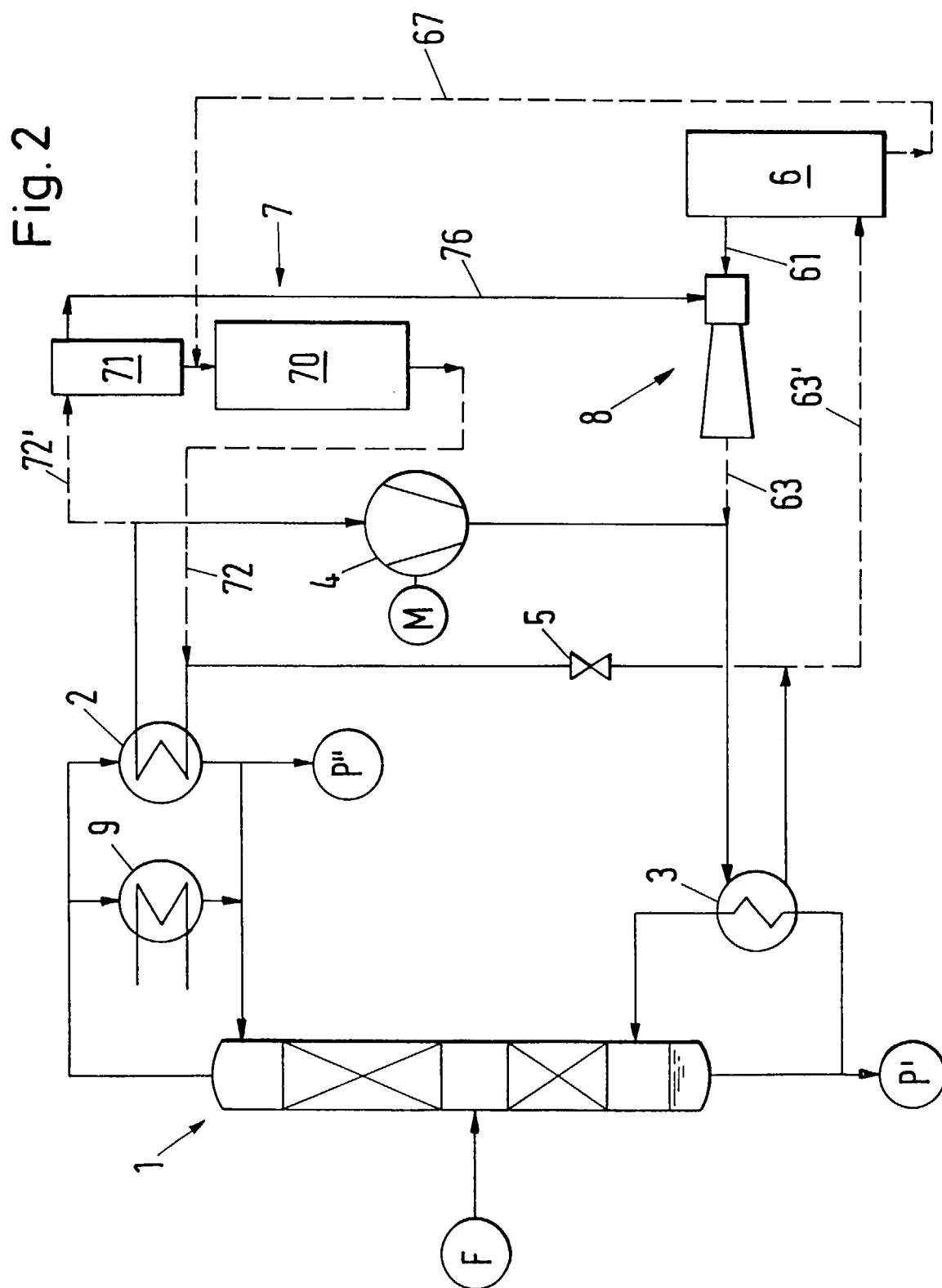
**[0020]** Wird die Anlage gemäss Fig. 2 sowie mit einem elektrisch angetriebenen Verdichter 4 verwendet, so kann ein alternierender Betrieb mit der Wärmepumpe bzw. den substituierenden Einrichtungen zu einer Optimierung der Energiekosten führen. Nämlich dann, wenn beispielsweise am Tag die Kosten für die elektrische Energie wesentlich höher als während der Nacht sind und die Kosten für die Dampferzeugung relativ tief sind, so dass der mit den substituierenden Einrichtungen verbundene Mehrbedarf an Energie aufgrund hoher Kosten für die elektrische Energie gesamthaft geringere Kosten verursacht. Zur Einsparung von Energiekosten kann so während der Nacht der Betrieb mit der Wärmepumpe 4, 5 und am Tag mit den substituierenden Einrichtungen 6, 7, 8 durchgeführt werden.

## Patentansprüche

1. Destillationsanlage mit einer Kolonne (1) und einer zwischen einem Sumpfverdampfer (3) und einem Brüdenkondensator (2) der Kolonne arbeitenden Wärmepumpe (4, 5),  
dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmepumpe durch Einrichtungen (6, 7) substituierbar ist, die bei Bedarf an den Sumpfverdampfer und den Brüdenkondensator anschaltbar sind, und dass diese substituierenden Einrichtungen solche (6 bzw. 7) zur Erzeugung von Dampf bzw. zur Bereitstellung eines Kühlmittels, insbesondere von kühler Flüssigkeit oder kühlem Gas, sowie Anschlussmittel (63, 63', 72, 72') umfassen. 5
2. Destillationsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Arbeitsmittel der Wärmepumpe (4, 5) Wasser dient, das während des Wärmepumpenbetriebs Phasenumwandlungen unterworfen ist. 10
3. Destillationsanlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kühler für eine Abfuhr von Überschusswärme vorgesehen ist, dass dieser Kühler (9) an ein Kühlwassernetz angeschlossen ist und dass dieses Kühlwassernetz die Einrichtung (7) zur Bereitstellung von Kühlmittel ist. 15
4. Destillationsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuereinrichtung vorgesehen ist, über die ein Umschalten von der Wärmepumpe (4, 5) auf die substituierenden Einrichtungen (6, 7) ausführbar ist. 20
5. Destillationsanlage nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (6) zur Erzeugung von Dampf ein Kessel ist und dass ein Druckentspannungsorgan im Anschlussmittel zwischen Kessel und Sumpfverdampfer angeordnet ist, wobei das Druckentspannungsorgan ein Teil der Einrichtung zur Bereitstellung von Kühlmittel sein kann, insbesondere ein Dampfstrahlverdichter (8), und welches Organ Exergie, die mit dem Dampf zur Verfügung steht, nutzbar macht. 25
6. Destillationsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Brüdenkondensator (2) als Apparat mit Rohrbündeln oder Plattenstapeln ausgebildet ist, an deren Oberflächen die Brüden in Form von Fallfilmen kondensieren. 30
7. Verwendung einer Destillationsanlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gemisch (F) von organischen Stoffen in flüssiger Form in die Kolonne (1) eingespiessen wird, dass bei der destillativen Trennung Brüden mit einer Temperatur zwischen 40 und 120°C und ein Sumpfprodukt mit einer Temperatur zwischen 60 und 160°C gebildet werden, dass eine Wärmepumpe (4, 5) für einen Wärmewandel und Wärmetransport eingesetzt wird, dass ein Verdichter (4) der Wärmepumpe mit einem Elektromotor (M), einem Gasmotor, einer Dampfturbine oder einer Gasturbine angetrieben wird, wobei insbesondere der Verdichter ein einstufiger Turbokompressor ist und Wasser als Arbeitsmittel (40) dient. 35
8. Verwendung einer Destillationsanlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Verdichterausfall von einem Betrieb mit der Wärmepumpe (4, 5) auf einen Betrieb mit den substituierenden Einrichtungen (6, 7) umgeschaltet wird. 40
9. Verwendung einer Destillationsanlage nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die substituierenden Einrichtungen (6, 7) beim Anfahren der Destillation an den Sumpfverdampfer (3) bzw. den Brüdenkondensator (2) angeschlossen werden. 45
10. Verwendung einer Destillationsanlage nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zur Optimierung von Energiekosten alternierend ein Betrieb mit der Wärmepumpe (4, 5) und ein Betrieb mit den substituierenden Einrichtungen (6, 7, 8) vorgesehen ist. 50
7. Verwendung einer Destillationsanlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gemisch (F) von organischen Stoffen in flüssiger Form in die Kolonne (1) eingespiessen 55

Fig. 1







Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 81 0436

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	MEILI A: "HEAT PUMPS FOR DISTILLATION COLUMNS" CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS, Bd. 86, Nr. 6, 1. Juni 1990 (1990-06-01), Seiten 60-65, XP000173792 * Abbildung 3 *	1,3,7	B01D3/00 B01D3/14 F25B1/06
A	US 3 869 351 A (SCHWARTZMAN EVERETT H) 4. März 1975 (1975-03-04) * Abbildungen 1,2 *	1,5,7	
A	EP 0 842 686 A (SULZER CHEMTECH AG) 20. Mai 1998 (1998-05-20)		
A	EP 0 835 680 A (SULZER CHEMTECH AG) 15. April 1998 (1998-04-15)		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			B01D F25B
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	16. September 1999	Van Belleghem, W	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (P4/C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 81 0436

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

16-09-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 3869351	A	04-03-1975	US	4023946 A	17-05-1977
EP 0842686	A	20-05-1998	JP	10156101 A	16-06-1998
			US	5935388 A	10-08-1999
EP 0835680	A	15-04-1998	JP	10118406 A	12-05-1998

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82